

KARAKTERISASI ISOTERM SORPSI AIR BIJI KOPI DENGAN MODEL BET DAN GAB

Water soption isotherms characterization of green coffee beans by BET and GAB models

Sukrisno Widyotomo¹, O. Atmawinata¹, Hadi K. Purwadaria²

¹Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. PB Sudirman 90 Jember 68118;

²Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, PO Box 220 Bogor 16002

Email:swidyotomo@yahoo.com

ABSTRAK

Permasalahan dalam mempertahankan mutu selama penyimpanan dan pengiriman berkaitan dengan kadar air dan aktivitas air di dalam bahan. *Equilibrium of Moisture Content* (EMC) didefinisikan sebagai kandungan air pada bahan yang seimbang dengan kandungan air udara sekitarnya. EMC merupakan tolok ukur kemampuan berkembangnya mikro organisme yang menyebabkan terjadinya kerusakan atau pembusukan bahan pada saat penyimpanan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik isotermi sorpsi air biji kopi dengan menggunakan model BET dan GAB. Kondisi suhu yang digunakan adalah 25-39 °C sesuai dengan kondisi penyimpanan di daerah tropis. Biji kopi yang digunakan adalah kopi Arabika dan Robusta hasil pengolahan kering dari Sulawesi Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan pembagian daerah sorpsi, hasil analisis persamaan garis isotermi sorpsi model BET menunjukkan bahwa kadar air kopi Robusta yang berkeseimbangan dengan menggunakan model BET dan GAB pada kelembaban relatif 70 % pada suhu 32 °C masing-masing 11,93 % dan 11,22 %, sedangkan pada suhu 25 °C adalah 12,81 % dan 11,87 %. Untuk kopi Arabika pada suhu 32 °C masing-masing adalah 11,07 % dan 11,09 %, sedangkan pada suhu 25 °C adalah 11,65 % dan 11,78 %.

Kata kunci : Kopi, isotermi sorpsi air, aktivitas air, BET, GAB

ABSTRACT

Many problems of coffee bean stability during storage and sea transportation are related to moisture content and the water activity of the beans. The moisture content of the beans is affected by temperature and relative humidity of the ambient air. *Equilibrium of Moisture Content* (EMC) defined as moisture content in substances was equal with moisture content in the surrounding air. EMC is a measuring rod of multiply microorganisme ability to cause destruction or degrading material during storage. The objectives of this research work were to determine water soption isotherms characterization of green coffee beans by BET and GAB models. Temperature used is 25-39 °C that usually found in storage of this commodity in tropical regions. Green beans used in this research are South Sulawesi arabika and robusta dried beans that dry process produce. The result showed that to be base on sorpsion area, water sorption isotherm regression equation by BET model showed that Robusta equilibrium moisture content on 70 % relative humidity which 32 °C and 25 °C temperature storage were 11.93 % and 11.22 % by BET model, and 12.81 % and 11.87 % by GAB model. For Arabica, 11.07 % and 11.09 % by BET model, and 11.65 % and 11.78 % by GAB model.

Keywords : Coffee, water sorption isotherm, water activity, BET, GAB

PENDAHULUAN

Kopi memiliki peranan penting dalam perekonomian nasional sebagai bahan baku industri minuman penyegar (Ditjend. P2HP, 2006). Indonesia merupakan salah satu produsen kopi utama di dunia dengan total produksi 686 763 ton (Plantus, 2008). Permasalahan dalam mempertahankan mutu selama proses penyimpanan dan pengiriman biji kopi berkaitan dengan kadar air dan aktivitas air. Penyimpanan biji kopi bukan merupakan suatu proses yang pasif, melainkan suatu proses yang aktif. Faktor utama yang berpengaruh terhadap perubahan mutu biji kopi selama proses penyimpanan adalah kelembaban relatif, suhu dan kondisi ruang penyimpanan atau gudang (Owen, 2002; Lee, 2002). Kelembaban nisbi ruang simpan cepat atau lambat akan mempengaruhi perubahan kadar air bahan, dan pada saatnya akan mencapai keseimbangan dengan kelembaban nisbi. Apabila perubahan kadar air relatif cepat dibandingkan dengan perubahan kelembaban nisbinya, maka dimungkinkan bahan pangan akan cepat mengalami kerusakan (Kadir dkk, 1982).

Jamur adalah penyebab kerusakan terbesar kedua setelah insekta pada bahan pangan selama proses penyimpanan di dalam gudang. Penyimpanan biji kopi berkadar air tinggi dapat menyebabkan tumbuhnya jamur *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, bahkan *Aspergillus ochraceus* yang dapat menghasilkan racun *ochratoxin A* (Ismayadi dkk., 2005). Christensen dan Kaufmann (1974) melaporkan bahwa kelembaban relatif minimum yang memungkinkan *Aspergillus restrictus* tumbuh adalah 70 % dengan suhu optimum antara 30-35 °C. Vincent (1989) melaporkan bahwa lamanya penyimpanan dapat menyebabkan warna biji kopi berubah dari biru menjadi kekuningan kemudian cokelat dan semakin memucat.

Lee (2002) dan Owen (2002) melaporkan bahwa para ahli kopi belum sepakat dengan pada tingkat suhu ideal agar dapat tersimpan dengan aman. Saran penyimpanan berkisar antara 10-21 °C, namun ada pula yang menyarankan proses penyimpanan dilakukan dalam suhu 15,5 °C. Sebuah perusahaan importir kopi menyarankan 21 °C dan kelembaban relatif 50-55 % akan diperoleh profil flavor kopi tetap baik sampai 12 bulan penyimpanan. Penyimpanan biji kopi dalam ruang simpan dengan kisaran suhu 27-33 °C dan kelembaban relatif 56,7-67 % selama 1 dan 2 tahun masing-masing sebesar $9,83 \pm 0,32$ % dan $10,1 \pm 0,26$ % (Yusianto dkk., 2007). Rojas (2004) melaporkan bahwa untuk penyimpanan kopi yang ideal selama proses pengapalan, kelembaban udara dan suhu maksimum masing-masing sebesar 60 %, dan 20 °C. Kadar air ideal untuk penyimpanan kopi Arabika adalah 12 %, sedangkan Robusta 13 %. Kadar air lebih dari 16 %

menyebabkan pertumbuhan jamur, sedangkan kurang dari 9 % menyebabkan kerusakan warna dan citarasa. Kopi Arabika lebih mudah menyerap air daripada kopi Robusta.

Kadar air keseimbangan atau *Equilibrium of Moisture Content* (EMC) merupakan konsep penting dari teori pengeringan dan pembasahan pada bahan-bahan pertanian. Kadar air suatu bahan pertanian sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban relatif udara lingkungan penyimpanan. Hal tersebut merupakan satu faktor yang menentukan sampai seberapa jauh suatu bahan dapat dikeringkan pada kondisi lingkungan tertentu dan dapat digunakan sebagai tolak ukur kemampuan berkembangnya mikro organisme yang menyebabkan terjadinya kerusakan atau pembusukan bahan pada saat penyimpanan (Syarif dan Halid, 1993; Clarke dan Macrae, 1985). Penetapan kadar air dan aktivitas air (a_w) bahan merupakan salah satu cara untuk mengetahui kondisi penanganan dan penyimpanan yang lebih baik. Suatu bahan pangan dengan kadar air yang relatif tinggi akan cenderung mengalami kerusakan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan bahan pangan yang memiliki kadar air lebih rendah (Kadir dkk, 1982).

Kadar air dan aktivitas air (a_w) optimum dapat dipelajari salah satu diantaranya dengan model sorpsi isotermi air bahan pangan. Pemahaman karakteristik sorpsi isotermi air biji kopi sangat diperlukan untuk menentukan atau memperhitungkan kestabilan mutu selama proses penyimpanan maupun transportasi (Clarke dan Macrae, 1985). Secara umum model sorpsi isotermi air bahan pangan adalah sebuah kurva sigmoid atau menyerupai huruf S. Syarif dan Halid (1993), dan Rockland (1957) menyebutkan pada masing-masing daerah sorpsi menggambarkan adanya perbedaan jenis interaksi molekul air dengan komponen kimia bahan pangan.

Teori mengenai sorpsi isotermi untuk menggambarkan model isothermal air suatu bahan pangan baik secara empirik maupun matematis telah banyak dikembangkan diantaranya oleh Harkin dan Jura (1944), dan Freunlich (1926). Atmawinata (1995) menentukan kadar air yang aman bagi penyimpanan biji kopi dengan persamaan Henderson (1952). Pada kenyataannya beberapa model tersebut belum menunjukkan kesempurnaan untuk menggambarkan keseluruhan proses sorpsi air bahan pangan (Labuza, 1975). Persamaan BET dengan sempurna dapat menggambarkan proses sorpsi air pada selang $a_w = 0,20-0,35$ (Labuza, 1980). Tidak semua jenis mikroorganisme menghendaki a_w yang sama, dan masih ada mikroorganisme yang dapat tumbuh berkembang pada a_w yang rendah. Golongan mikroorganisme xerofilik misalnya, akan tahan hidup pada keadaan kering atau a_w sekitar 0,20-0,35. Pada umumnya bakteri memerlukan a_w yang relatif tinggi, yaitu sekitar 0,95 - 0,99 (Syarif dan Halid, 1993).

Pengembangan model sorpsi isotermin air dilakukan oleh *Braunauer, Emmet, & Teller (BET)* (1938) dalam bentuk persamaan yang diturunkan dari teori kinetika gas. Selanjutnya *Guggenheim-Andersson-DeBoer (GAB)* mengembangkan persamaan *Braunauer, Emmet, & Teller (BET)* dengan penambahan beberapa parameter penyimpanan (Syarif dan Halid, 1993). Somantri (2003) melaporkan bahwa model GAB merupakan model yang paling baik untuk menjelaskan sorpsi isotermin berbagai macam bahan pangan dalam rentang aktivitas air yang cukup lebar (0-0,9).

Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan karakteristik isotermin sorpsi air biji kopi dengan menggunakan model BET dan GAB pada suhu 25-39 °C sesuai dengan kondisi penyimpanan di daerah tropis. Hasil analisis ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan penentuan kondisi penyimpanan biji kopi yang tepat agar mutu produk tetap baik sampai diterima konsumen ataupun untuk dilanjutkan pada tahapan proses selanjutnya.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan penelitian yang digunakan adalah kopi Robusta dan Arabika hasil pengolahan kering yang berasal dari Sulawesi Selatan, dan beberapa garam jenuh seperti kalium karbonat, natrium bromida, tembaga khlorida, amonium sulfat, dan kalium khlorida untuk membentuk kondisi kelembaban relatif yang tetap pada kondisi suhu tertentu. Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: desikator, timbangan analitik, oven, seperangkat komputer sebagai unit pengolah dan penyimpan data, dan lain-lain.

Pelaksanaan Penelitian

Alur pelaksanaan penelitian karakterisasi isotermin sorpsi air biji kopi Robusta dan Arabika dengan model BET dan GAB ditampilkan pada **Gambar 1**. Untuk memperoleh kadar air yang berkeseimbangan dengan kelembaban relatif ruang simpan, maka digunakan metode statik, yaitu dengan membuat agar keadaan lingkungan menjadi setimbang dengan bahan tanpa adanya pengadukan. Dengan membuat larutan jenuh kalium karbonat, natrium bromida, tembaga khlorida, amonium sulfat, dan kalium khlorida, maka akan dihasilkan kelembaban relatif antara 40-86 % (Atmawinata, 1995; Rochland, 1960).

Proses dehidrasi dilakukan terhadap biji kopi berkadar air 13 % sampai kadar air 20 % untuk meyakinkan terjadinya desorpsi. Biji kopi sebanyak 10 g dimasukkan ke dalam botol timbang dan diletakkan di dalam desikator. Desikator tersebut

kemudian disimpan dalam inkubator pada suhu masing-masing 25, 32 dan 39 °C. Botol berisi biji kopi ditimbang setiap dua hari sampai tercapai kesetimbangan kadar air yang ditandai dengan tidak terjadinya perubahan berat. Setiap perlakuan diulang sebanyak dua kali. Kadar air yang telah mencapai kesetimbangan ditentukan dengan metode *oven vacuum (ASAE, 1993; Dick, 1984)*. Hasil penentuan kadar air biji kopi yang berkeseimbangan dengan berbagai kelembaban relatif pada suhu 25 °C, 32 °C dan 39 °C ditampilkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kadar air keseimbangan biji kopi pada suhu 25 °C, 32 °C dan 39 °C

Jenis	Suhu, °C	Kelembaban relatif, %							
		40	42	43	57	67	75	79	83
Robusta	25	-	-	7.28	8.60	11.64	13.33	*	-
	32	-	7.07	-	8.17	11.07	12.63	*	-
	39	6.34	-	-	7.44	10.42	11.98	14.72	16.28
Arabika	25	-	-	7.03	8.48	11.66	13.20	*	-
	32	-	6.58	-	7.74	10.93	12.54	*	-
	39	6.13	-	-	7.16	10.41	11.98	14.94	16.90

Catatan : * adalah biji berjamur

Metode analisis

Analisis sorpsi isotermin air dari biji kopi dilakukan dengan menggunakan model BET dan GAB dengan betuk persamaan sebagai berikut:

1. Model BET

Secara matematis persamaan BET dapat dituliskan sebagai berikut (Clarke dan Macrae, 1985):

$$\frac{a_w}{[1 - a_w]M_e} = \frac{1}{m_o c} + \frac{[c - 1]a_w}{m_o c} \quad 1$$

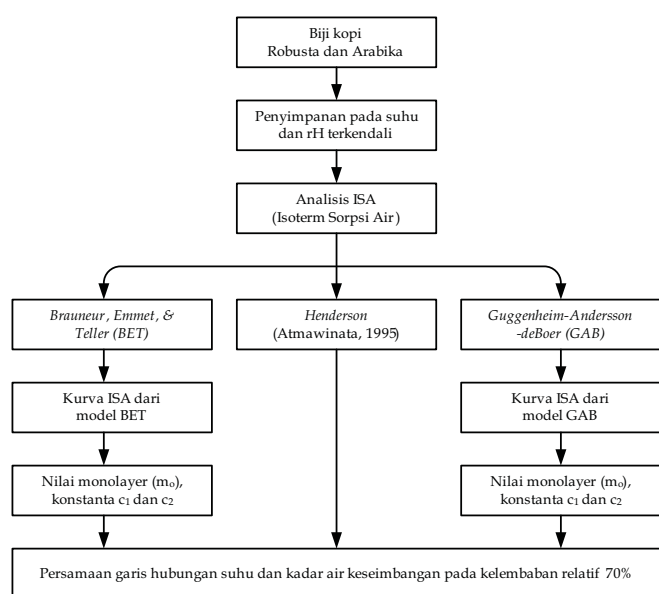
Dalam hal ini a_w adalah aktivitas air (%), M_e adalah kadar air keseimbangan (%), m_o adalah monolayer BET (%), dan c adalah konstanta.

Persamaan yang terbentuk dari karakteristik isotermin sorpsi air model BET adalah regresi linier, sebagai berikut:

$$y = Bx + A \quad 2$$

Dalam hal ini :

$$y = \frac{a_w}{[1 - a_w]M_e} ; x = a_w ; B = \frac{c - 1}{m_o c} ; \text{ dan } A = \frac{1}{m_o c} \quad 3$$



Gambar 1. Diagram alur pelaksanaan penelitian

2. Model GAB

Secara matematis persamaan GAB dapat dituliskan sebagai berikut (Clarke dan Macrae, 1985) :

$$\frac{M_e}{m_o} = \frac{c_1 \cdot c_2 \cdot a_w}{(1 - c_2 \cdot a_w)[1 + (c_1 - 1)c_2 a_w]} \quad 4$$

Dalam hal ini a_w adalah aktivitas air (%), M_e adalah kadar air keseimbangan (%), m_o adalah monolayer GAB (%), c_1 dan c_2 adalah konstanta.

Persamaan yang terbentuk dari karakteristik isotermi sorpsi air model GAB adalah persamaan polinomial, sebagai berikut:

$$y = \alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \lambda \quad 5$$

Parameter y dan x tersebut di atas masing-masing ditentukan sebagai berikut:

$$y = \frac{a_w}{M_e} \text{ dan } x = a_w \quad 6$$

Nilai parameter m_o , c_1 dan c_2 ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$m_o = \sqrt{\frac{-1}{4\alpha \cdot \gamma - \beta^2}} \quad 7$$

$$c_1 = \frac{\left(\beta - \left(\frac{1}{m_o} \right) \right)}{-2\gamma} \quad 8$$

$$c_2 = \left(\frac{1}{c_1 \cdot m_o \cdot \gamma} \right) \quad 9$$

Enthalpy sorpsi (Q_s) dapat dihitung dengan persamaan berikut (Iglesias dan Chirife, 1976):

$$QS = R \cdot T \cdot \ln C \quad 10$$

Dalam hal ini R adalah tetapan gas (1,987 kkal/mol.K), T adalah suhu mutlak (K), dan C adalah konstanta.

Perubahan histerisis sebanding dengan besarnya energi bebas molal rata-rata (ΔF_{av}) pada fase kesetimbangan antara air dengan kelembaban nisbinya. Secara matematis persamaan tersebut dapat dituliskan:

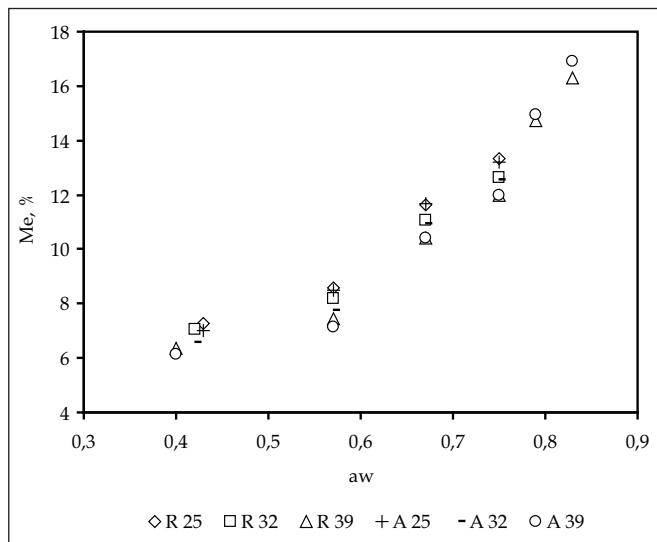
$$\Delta F_{av} = R \cdot T \cdot h[a_w] \quad 11$$

Dalam hal ini R adalah tetapan gas (1,987 kkal/mol.K), T adalah suhu mutlak (K), dan a_w adalah aktivitas air bahan

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan sebaran kadar air keseimbangan aktual biji kopi Robusta dan Arabika hasil pengukuran pada kisaran nilai a_w 0,4-0,83. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air keseimbangan biji kopi akan meningkat dengan semakin tinggi suhu penyimpanan dan kelembaban relatif ruang simpan.

Berdasarkan pembagian daerah sorpsi (Syarief dan Halid, 1993), hasil analisis persamaan garis isotermi sorpsi model BET menunjukkan bahwa pada suhu penyimpanan 25 °C, 32 °C, dan 39 °C diperoleh kadar air pada daerah monolayer untuk kopi Robusta masing-masing sebesar 3,17 %, 3,07 %, dan 3,02 %. Sedangkan jika menggunakan isotermi sorpsi model GAB diperoleh kadar air pada daerah monolayer masing-masing sebesar 3,98 %, 3,55 %, dan 3,26 % (Tabel 2). Pada kondisi demikian air yang terkandung adalah air yang terikat pada permukaan yang sangat stabil dan hanya cukup untuk melindungi produk dari senyawa O_2 (Syarief dan Halid, 1993). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi suhu penyimpanan, maka kadar air pada daerah monolayer semakin rendah. Hal yang sama juga diperoleh pada analisis isotherm sorpsi model BET dan GAB dari kopi Arabika. Pada suhu penyimpanan 25 °C, 32 °C, dan 39 °C diperoleh kadar air pada daerah monolayer untuk kopi Arabika masing-masing sebesar 3,2 %, 3,1 %, dan 3,0 %. Sedangkan jika menggunakan isotermi sorpsi model GAB diperoleh kadar air pada daerah monolayer masing-masing sebesar 4,2 %, 3,5 %, dan 3,0 %.



Gambar 2. Sebaran kadar air keseimbangan kopi Robusta dan Arabika hasil pengukuran

Gambar 3 dan **4** menunjukkan bahwa untuk daerah *multilayer* atau daerah adsorpsi II yang berada pada kisaran a_w 0,4-0,7. Untuk model BET pada suhu penyimpanan 25 °C, 32 °C dan 39 °C diperoleh kadar air kopi Robusta berada pada kisaran 7,16 - 12,89 %, sedangkan untuk model GAB berada pada kisaran 6,25-16,11 %. Untuk kopi Arabika, daerah *multilayer* pada suhu penyimpanan 25 °C, 32 °C dan 39 °C untuk model BET berada pada kisaran 5,99 - 11,69 %, sedangkan untuk model GAB berada pada kisaran 6,03 - 15,9 %. Air yang terkandung di daerah *multilayer* kurang kuat terikat jika dibandingkan dengan air yang terikat di daerah *monolayer* (Syarief dan Halid, 1993).

Daerah kondensasi kapiler atau daerah adsorpsi III berada pada kisaran a_w lebih besar dari 0,7. Hasil analisis persamaan garis isotermin sorpsi model BET menunjukkan bahwa pada suhu penyimpanan 25 °C, 32 °C, dan 39 °C diperoleh kadar air pada daerah kondensasi kapiler untuk kopi Robusta masing-masing lebih besar dari 11,7 %, 11,16 %, dan 12,89 %. Sedangkan jika menggunakan isotermin sorpsi model GAB diperoleh kadar air pada daerah kondensasi kapiler masing-masing lebih besar dari 16,11 %, 11,24 %, dan 10,55 % (**Tabel 2**). Pada kondisi demikian air yang terkandung adalah air bebas yang cukup banyak sehingga cukup optimal bagi beberapa reaksi biokimia, mikroba dan reaksi fisik (Syarief dan Halid, 1993). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi suhu penyimpanan, maka kadar air pada daerah kondensasi kapiler semakin rendah. Hal yang sama juga diperoleh pada analisis isotherm sorpsi model BET dan GAB dari kopi Arabika. Pada suhu penyimpanan 25 °C, 32 °C, dan 39 °C diperoleh kadar air pada daerah kondensasi kapiler untuk kopi Arabika masing-masing lebih besar dari 11,69 %, 10,99 %, dan 10,52 %. Sedangkan jika

menggunakan isotermin sorpsi model GAB diperoleh kadar air pada daerah kondensasi kapiler masing-masing lebih besar 15,9 %, 11,06 %, dan 10,44 %.

Menurut Syarief dan Halid (1993) daerah teraman untuk penyimpanan produk pertanian atau bahan pangan adalah pada nilai a_w 0,625 karena merupakan titik kritis ambang batas toleransi minimum pertumbuhan kapang dan khamir. Lebih lanjut Clarke dan Macrae (1985) melaporkan bahwa jamur mulai tumbuh dipermukaan biji kopi pada kadar air minimal 13 %, dan nilai aktivitas air 0,65. Pada nilai a_w tersebut dari hasil analisis sorpsi isotermin model BET diperoleh kadar air kesetimbangan (M_e) kopi Robusta pada suhu 25 °C, 32 °C, dan 39 °C masing-masing sebesar 9,72 %, 9,26 %, dan 9,08 %. Sedangkan dengan metode GAB diperoleh nilai kadar air kesetimbangan (M_e) pada suhu 25 °C, 32 °C, dan 39 °C masing-masing sebesar 9,95 %, 9,44 %, dan 8,77 %. Hasil analisis sorpsi isotermin model BET diperoleh kadar air kesetimbangan (M_e) kopi Arabika pada suhu 25 °C, 32 °C, dan 39 °C masing-masing sebesar 9,62 %, 9,02 %, dan 8,58%. Sedangkan dengan metode GAB diperoleh nilai kadar air kesetimbangan (M_e) pada suhu 25 °C, 32 °C, dan 39 °C masing-masing sebesar 9,89 %, 9,11 %, dan 8,57 %.

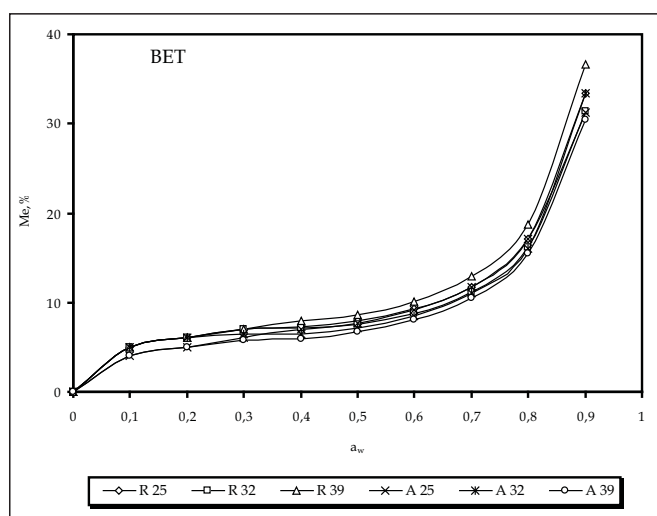
Nilai konstanta c dan m_0 hasil analisa model sorpsi isotermin BET, dan nilai konstanta c_1 , c_2 , dan m_0 hasil analisa model sorpsi isotermin GAB dari kopi Robusta dan Arabika ditampilkan pada **Tabel 2**. Sedangkan persamaan garis yang menyatakan hubungan antara suhu penyimpanan dan kadar air keseimbangan biji kopi dengan menggunakan metode BET, GAB dan Henderson ditampilkan pada **Tabel 3**. Persamaan tersebut akan menunjukkan nilai prediksi yang baik pada kisaran suhu dan kelembaban relatif ruang simpan masing-masing 25-39 °C, dan 70 %. Kurva yang terbentuk dari persamaan garis tersebut ditampilkan pada **Gambar 5** dan **6**. Chandrasekar dan Viswanathan (1999) melaporkan bahwa kopi HS pada kadar air 9,9-26,0 % (arabika), dan 10,6-30,6 % (robusta) memiliki sifat-sifat termal sebagai berikut ; 1) konduktivitas panas masing-masing 0,1-0,2 W/m.K dan 0,07-0,16 W/m.K, 2) difusivitas panas masing-masing $2,36-1,69 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ dan $2,08-1,44 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, dan 3) panas spesifik masing-masing 1,04-2,36 kJ/kg.K dan 0,78-2,18 kJ/kg.K.

Hasil analisis dengan metode BET dan GAB menunjukkan bahwa untuk kopi Robusta, kadar air yang berkeseimbangan dengan kelembaban relatif 70 % pada suhu 32 °C untuk kopi Robusta masing-masing adalah 11,93 % dan 11,22 %, sedangkan pada suhu 25 °C adalah 12,81 % dan 11,87 %. Sedangkan untuk kopi Arabika kadar air yang berkeseimbangan dengan kelembaban relatif 70 % pada suhu 32 °C masing-masing adalah 11,07 % dan 11,09 %, sedangkan pada suhu 25 °C adalah 11,65 % dan 11,78 %. Atmawinata (1995) melaporkan bahwa kadar air yang berkeseimbangan dengan kelembaban relatif 70 % pada suhu 32 °C untuk kopi

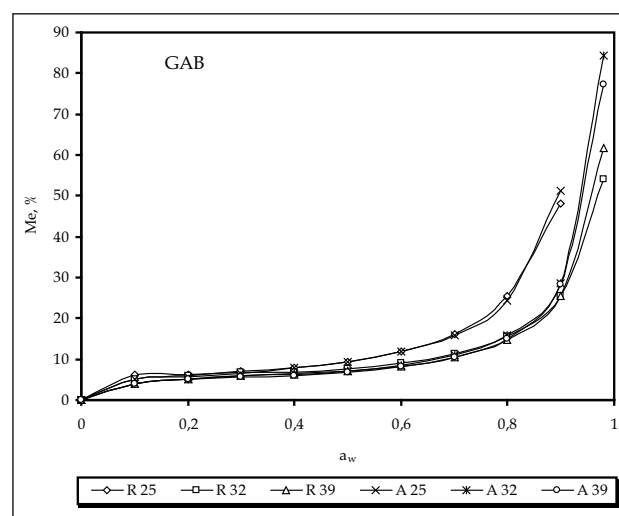
Robusta dan Arabika masing-masing adalah 11,46 % dan 11,4 %, sedangkan pada suhu 25 °C adalah 12 % dan 11,93%. Sivetz dan Desroiser (1979) melaporkan bahwa kadar air keseimbangan biji kopi pada suhu 25°C dan kelembaban relative rata-rata 60 % adalah 12 %. Fontana (2000) dan Syarif dan Halid (1993) melaporkan bahwa dengan semakin rendah nilai kadar air kesetimbangan (M_e) dan aktivitas air (a_w) di dalam produk pangan selama penyimpanan, maka energi aktivasi yang dibutuhkan untuk proses pelepasan molekul-molekul air akan semakin tinggi.

Hasil-hasil penelitian Altman dan Benson (1960) menunjukkan bahwa perubahan suhu dapat berpengaruh

terhadap perubahan bentuk interaksi molekul air dalam bahan pangan. Namun, Iglesias & Chirife (1976) mengemukakan bahwa daerah sorpsi dipengaruhi oleh jenis interaksi molekul air dalam bahan pangan, walaupun demikian hasil perhitungan matematis terhadap model sorpsi tidak memberikan petunjuk tentang jenis interaksi molekul air dalam bahan pangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai Q_s kopi Robusta berkisar antara 4,63 – 4,85 kkal/gmol, dan untuk kopi Arabika berkisar antara 3,62-3,79 kkal/gmol pada kisaran suhu penyimpanan 25-39 °C. Menurut Rockland dan Nishi (1980) perubahan tersebut disebabkan oleh perubahan energi ikatan molekul-molekul air.



Gambar 3. Isotherm sorpsi air kopi Robusta (R.) dan Arabika (A) dengan model BET



Gambar 4. Isotherm sorpsi air kopi Robusta (R.) dan Arabika (A) dengan model GAB

Tabel 2. Persamaan garis, nilai m_o , dan konstanta c , c_1 serta c_2 dari model BET dan GAB

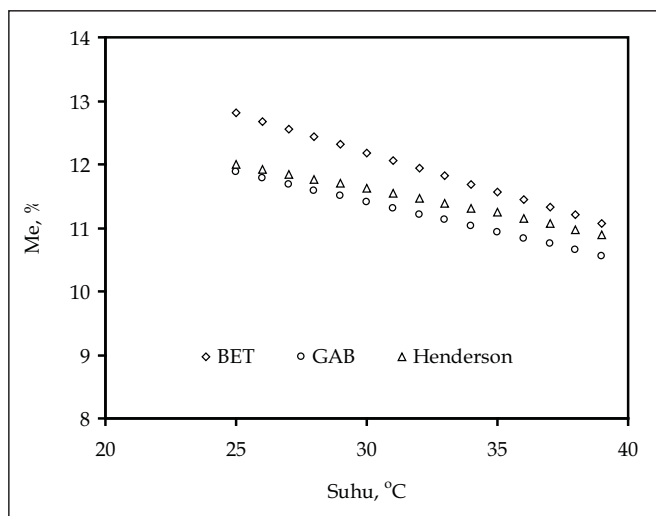
No.	Suhu , °C	Persamaan garis	Koef. korelasi [r ²]	Nilai		
				m _o	C atau c ₁	c ₂
I	Sorpsi isotermit model BET untuk kopi Robusta					
a.	25	Y = 0,358X – 0,0523	0,9656	3,17	-5,85	-
b.	32	Y = 0,3865X – 0,0615	0,9684	3,08	-5,28	-
c.	39	Y = 0,3217X – 0,0442	0,9603	3,03	-6,28	-
II	Sorpsi isotermit model BET untuk kopi Arabika					
a.	25	Y = 0,3507X – 0,0459	0,96541	3,28	-6,64	-
b.	32	Y = 0,3655X – 0,0436	0,9575	3,11	-7,38	-
c.	39	Y = 0,3684X – 0,0361	0,9642	3,01	-9,21	-
III	Sorpsi isotermit model GAB untuk kopi Robusta					
a.	25	Y = -0,2467X ² + 0,2763X - 0,0135	0,6826	3,98	0,94	-19,87
b.	32	Y = -0,2959X ² + 0,3395X - 0,0304	0,6772	3,55	0,95	-9,72
c.	39	Y = -0,3247X ² + 0,3651X - 0,301	0,8859	3,26	0,97	-10,55
IV	Sorpsi isotermit model GAB untuk kopi Arabika					
a.	25	Y = -0,0476X ² + 0,0538X + 0,0167	0,653	4,22	0,92	516,05
b.	32	Y = -0,1876X ² + 0,1909X - 0,0071	0,8862	3,55	0,95	-9,72
c.	39	Y = -0,0839X ² + 0,1023X + 0,0204	0,6772	3,06	0,99	-9,50

Keterangan : X adalah aktivitas air, dan Y adalah kadar air keseimbangan (%)

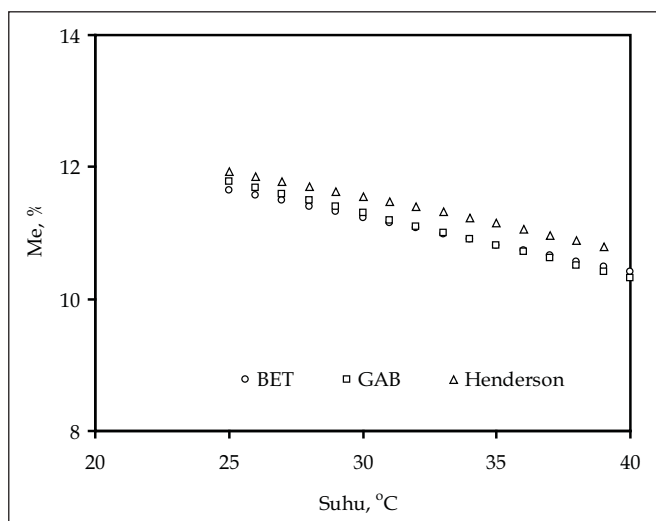
Tabel 3. Persamaan garis regresi hubungan antara suhu dan kadar air keseimbangan pada kelembaban relative udara 70%

Kopi	Metode	Persamaan garis	r
Robusta	BET	$Y = -0,1236x + 15,895$	0,999
	GAB	$Y = -0,0937x + 14,214$	0,999
	Henderson ^{*)}	$Y = -0,0786x + 13,974$	0,992
Arabika	BET	$Y = -0,0835x + 13,742$	0,999
	GAB	$Y = -0,0971x + 14,223$	0,999
	Henderson ^{*)}	$Y = -0,0813x + 13,986$	0,998

Keterangan : ^{*)} Atmawinata (1995), x adalah suhu (°C), dan y adalah kadar air keseimbangan (%)



Gambar 5. Kadar air keseimbangan kopi Robusta pada beberapa suhu yang berbeda



Gambar 6. Kadar air keseimbangan kopi Arabika pada beberapa suhu yang berbeda

KESIMPULAN

Karakterisasi isoterme sorpsi air biji kopi telah dilakukan dengan menggunakan metode BET dan GAB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

1. Berdasarkan pembagian daerah sorpsi, hasil analisis persamaan garis isoterme sorpsi model BET menunjukkan bahwa pada suhu penyimpanan 25 °C, 32 °C, dan 39 °C diperoleh kadar air pada daerah monolayer untuk kopi Robusta masing-masing sebesar 3,2 %, 3,1 %, dan 3,0 %. Jika menggunakan isoterme sorpsi model GAB diperoleh kadar air pada daerah monolayer masing-masing sebesar 3,9 %, 3,5 %, dan 3,2 %. Pada suhu penyimpanan 25 °C, 32 °C, dan 39 °C diperoleh kadar air pada daerah monolayer untuk kopi Arabika dengan model BET masing-masing sebesar 3,3 %, 3,1 %, dan 3,0 %. Jika menggunakan isoterme sorpsi model GAB diperoleh kadar air pada daerah monolayer masing-masing sebesar 4,2 %, 3,6 %, dan 3,1 %.
2. Untuk daerah *multilayer* atau daerah adsorpsi II yang berada pada kisaran a_w 0,4-0,7, diperoleh nilai kadar air kopi Robusta pada suhu penyimpanan 25 °C, 32 °C dan 39 °C untuk model BET berada pada kisaran 7,2 - 12,9 %, sedangkan untuk model GAB berada pada kisaran kadar air 6,3-16,1 %. Kopi Arabika untuk model BET berada pada kisaran 6,0 - 11,7 %, sedangkan untuk model GAB berada pada kisaran kadar air 6,0 - 16,0 %.
3. Pada daerah kondensasi kapiler persamaan garis isoterme sorpsi model BET menunjukkan bahwa pada suhu penyimpanan 25 °C, 32 °C, dan 39 °C diperoleh kadar air pada daerah kondensasi kapiler untuk kopi Robusta masing-masing lebih besar dari 11,7 %, 11,2 %, dan 12,9 %, sedangkan dengan menggunakan isoterme sorpsi model GAB masing-masing lebih besar dari 16,1 %, 11,2 %, dan 10,5 %. Untuk kopi Arabika dengan menggunakan model BET masing-masing lebih besar dari 11,7 %, 11 %, dan 10,5 %, sedangkan jika menggunakan isoterme sorpsi model GAB diperoleh kadar air pada daerah kondensasi kapiler masing-masing lebih besar 15,9 %, 11,1 %, dan 10,4 %.
4. Kadar air kopi Robusta yang berkeselimbangan dengan menggunakan model BET dan GAB pada kelembaban relatif 70 % pada suhu 32 °C masing-masing 11,9 % dan 11,2 %, sedangkan pada suhu 25 °C adalah 12,8 % dan 11,9 %. Untuk kopi Arabika pada suhu 32 °C masing-masing adalah 11,1 % dan 11,1 %, sedangkan pada suhu 25 °C adalah 11,7 % dan 11,8 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Altman, P.L. dan Benson, S. W. (1960). The sorption of water vapour by native and denatured egg albumin. *Journal of Am. Chemical Soc.* 64 : 851.
- American Society of Agricultural Engineers. (1993). *Moisture Relationships of Grains*. p 412-416. In ASAE Standards 1993 : Standards Engineering Practices Data. American Society of Agricultural Engineers. USA.
- Atmawinata, O. (1995). Kadar air yang aman bagi penyimpanan biji kopi. *Pelita Perkebunan*. 11(1), 38-44.
- Brauneur, S., P.H. Emmet, dan Teller, E. (1938). Adsorption of gases in multi molecular layer. *Journal of Am. Chemical. Soc.* 60: 309.
- Chandrasekar, V dan Viswanathan, R. (1999). Physical and thermal properties of coffee. *Journal of Agric. Eng. R.* 73,227-234.
- Christensen, C.M. dan Kaufmann, H. H. (1974). *Microflora*. P. 158-187. In. C.M. Christensen (Eds). *Storage of Cereal Grains and Their Products*. American Association of Cereal Chemist. St. Paul. Minn.
- Clarke, R. J. dan Macrae, R. (1985). *Coffee Chemistry*. Vol. I. Elsevier Applied Science Publ.
- Dick, R.H. (1984). Coffee and Tea. p. 271-275. In. S. Williams (Ed.). *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analysis Chemists. Arlington, USA.
- Ditjend. Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian. (2006). *Pedoman Umum: Pascapanen perkebunan yang baik dan benar (Good Handling Practices/GHP)*. Direktorat Pascapanen. Ditjend. Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian. Departemen Pertanian.
- Fontana, A. J. (2000). Water activity's role in food safety and quality. Presented at *the Second NSF International Conference on Food Safety*, October 11-13, 2000, Savannah, GA USA.
- Freunlich, H. (1926). *Colloid Capillary Chemistry*. In: Textbook of Physical Chemistry. D. Van Nostrand Company Inc., New York.
- Harkin, W.D. dan Jura, G. (1944). Surfaces of solid. XIII. A Vapor adsorption method for the determination of the area of a solid without the assumption of mole color area, and the area occupied by nitrogen. *Journal of Chem. Soc.* 66:1366-1373.
- Henderson, S.M. (1952). A basic conception of equilibrium moisture. *Journal of Agric. Eng.*, 33(1), 29-32.
- Iglesias, H.A. dan. Chirife, J. (1976). On three local isotherm concept and models of moisture binding in food products. *Journal of Agricultural Food Chemical*. 24: 77.
- Ismayadi, C.; B. Sumartono; A. Marsh dan Clarke, R. J. (2005). Influence of storage of wet arabica parchment prior to wet hulling on moulds development, ochratoxin A contamination, and cup quality of Mandheling Coffee. *Pelita Perkebunan*, 21, 131-146.
- Kadir, S., M.A. Nur, dan Syachri, M. (1982). Pengontrolan dan pengukuran a_w (aktivitas air) dari ikan pindang dalam rangka meningkatkan mutu dan stabilitasnya dengan menggunakan NaCl sebagai *humectant*. Laporan Penelitian. Bagian Kimia. Institut Pertanian Bogor.
- Labuza, T.P. (1975). *Sorption Phenomena in Foods: Theoretical and Practical Aspects*, In: Storage Stability and Improvement of Intermediate-Moisture Foods. Texas.
- Labuza, T.P. (1980). Effects of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Journal of Food Technology*. 42: 36.
- Lee, C. (2002). Green coffee storage : A factor that ought not to be overlooked from tea & coffee trade. Journal Feb. 1999. *Sweet Maria's.com*.
- Owen, T. (2002). *Green Coffee Freshness*: How old is too old? Sweet Maria's Coffee, Inc.
- Plantus. (2008). Produksi kopi Indonesia masih posisi empat dunia. Anekaplantasia. Cybermediaclip.<http://anekaplanta.wordpress.com>. 28 Oktober 2008.
- Rochland, L. B. (1960). Saturated salt solutions for static control of relative humidity between 5° abd 40°C. *Journal of Anal. Chem.*, 32 (10), 1375-1376.
- Rockland, L.B. (1957). A new treatment of hygroscopic equilibria : Application to walnute (*Juglans regia*) and other foods. *Journal of Food. Res.* 22: 604.
- Rockland, L.B. dan Nishi, S.K. (1980). Influence of water activity on food product quality and stability. *Journal of Food Technology*. 42: 46-48.
- Rojas, J. (2004). *Green Coffee Storage*. P. 733-749. In : J. N. Wintgens (eds). *Coffee : Growing, Processing, Sustainable Production : A Guidebook for Growers, Producers, Traders, and Researchers*. Wiley-VCH Verlag GMBH and Co. KgaA. Weinheim.
- Sivetz, M. dan Desroiser, N. W. (1979). *Coffee Technology*. AVI Publ. Co., Westport, Conn.

- Somantri, A.S. (2003). Model matematika kadar air keseimbangan dua parameter untuk lada. *Buletin TRO* Vol. XIV, No. 1, 8-17.
- Syarief, R. dan Halid, H. (1993). *Teknologi Penyimpanan Pangan Lanjut*. Cetakan I. Penerbit Arcan. Jakarta.
- Vincent, G. C. (1989). *Green Coffee Processing*. p. 1-33. In : R. J. Clarke & Macrae (eds), *Coffee Technology*. Vol. II. Elsevier Appl. Sci., London and New York.
- Yusianto, R. Hulupi, Sulistyowati, S. Mawardi dan Ismayadi, C. (2007). Mutu fisik dan citarasa beberapa varietas kopi Arabika harapan pada beberapa periode penyimpanan. *Pelita Perkebunan*. 23 (3), 205-230.